

بررسی کارایی طوقه‌های ال شکل در کاهش آبستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی*

حسین خزیمه نژاد^(۱) مهدی قمشی^(۲) یوسف رضانی^(۳)

چکیده آبستگی پیرامون پایه پل‌ها از مهم‌ترین مباحث در علم هیدرولیک به‌شمار می‌رود. وقوع آبستگی موضعی در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل‌ها یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها است. در زمینه آبستگی اطراف پل‌ها تمرکز تحقیقات بیشتر بر روی پایه بوده است تا تکیه‌گاه در حالی که بررسی آمار موجود بر روی شکست پل‌ها نشان می‌دهد که بیشتر مشکلات، مربوط به تکیه‌گاه است و بالطبع هزینه‌های بیشتری نیز در این بخش صرف شده است. یکی از روش‌های کاهش آبستگی اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه پل، نصب طوقه بر روی آن است. طوقه‌ها بستر را در مقابل جریان‌های گردابی اطراف پایه محافظت می‌کنند. در تحقیق حاضر تأثیر دو نمونه طوقه کامل و ال شکل در کاهش آبستگی پیرامون تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفت و نموداری کاربردی در این زمینه استخراج و مشخص گردید که ابعاد طوقه بر عملکرد آن، تأثیر بسزایی دارد. نتایج نشان داد با افزایش ابعاد طوقه عمل‌کرد آن بهبود می‌یابد. با مقایسه دو نوع طوقه، مشخص شد، در صورتی که پیش‌آمدگی طوقه در طول، بیش از نیم برابر طول تکیه‌گاه باشد، طوقه‌های ال شکل مؤثرتر از طوقه کامل عمل می‌کنند. طوقه‌های ال شکل به دلیل این‌که مانع حرکت رسوبات ناشی از فعالیت گرداب برخاستگی در پایین‌دست تکیه‌گاه نمی‌شوند، عملکرد بهتری از خود نشان دادند. از طرفی طوقه‌های ال شکل به دلیل مساحت کمتر در مقایسه با طوقه‌های کامل، در صورت کاربردی شدن از نظر اقتصادی نیز به صرفه‌تر خواهند بود.

واژه‌های کلیدی طوقه‌ی ال شکل؛ تکیه‌گاه پل؛ آبستگی موضعی.

Laboratory Investigation of Performance of L-shaped Collar on Reduction of Local Scour Around Bridge abutment

H. Khozaymehnezhad M. Ghomeshi Y. Ramezani

Abstract Scour around bridge piers is one of the most important fields of hydraulic research. Local Scour around bridge piers and abutment is one of the main reasons of bridge failures. In the field of scour at the bridges, researches are more focus on scour of piers in compare with abutment. While the available information on the bridge failures required cost, the major problems are related to abutment. Therefore, most costs have spent in this part. One of the methods used to reduce of scour around bridge piers and abutment is installing collar. The collars protect the river bed against vortex flow in the vicinity of the piers and abutments. In this research the effect of two types of collar, include complete and L-shaped collar, were investigated on abutment scour reduction and application diagram is proposed. Results show that increasing dimensions of collars will increasing the efficiency of performance. Comparing of both collars indicated, that if the length of collars is larger than half the length of the abutment, the L-shaped collar is more effective in compare with complete collar. The L-shaped collar doesn't prevent sediment movement due to lift vortex in downstream of abutment and for this reason it is shown more effective performance than the complete collar. Also, using the L-shaped collars with less area is more cost effective.

Keywords L-shaped Collar; Bridge Abutment; Local Scour.

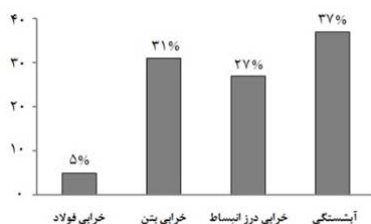
* تاریخ دریافت مقاله ۹۲/۱۱/۲۸ و تاریخ پذیرش آن ۹۳/۱۲/۲۵ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.

(۲) استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

(۳) استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

توسط وانگ [4]، تی [5]، کوان [6]، کانداسمی [7]، دانگل [8] و بسیاری دیگر نشان داده است که مکانیسم آبخستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار شبیه به مکانیسم آبخستگی در پایه پل‌ها است. جریان پایین‌رونده و گرداب اصلی در گوشه بالادست تکیه‌گاه پل، همراه با گرداب ثانویه و گرداب برخاستگی در قسمت میانی و گوشه انتهایی تکیه‌گاه پل باعث ایجاد فعل و انفعال پیچیده‌ای بین سیال و مواد بستر می‌شود که دلیل اصلی آبخستگی در تکیه‌گاه پل‌ها است. دیدن الگوی جریان اطراف تکیه‌گاه با استفاده از تکنیک‌های بصری جریان توسط دستگاه‌های جت رنگ، تزریق بلور رنگی، کاغذ شناور و تونل دود توسط بسیاری از محققان از جمله لیو [9] و ژیل [10] انجام شده است.



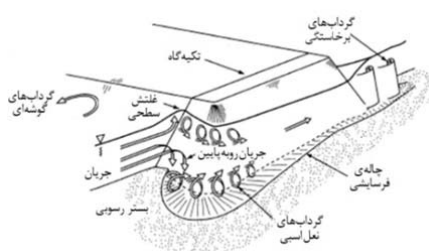
شکل ۱ عوامل مختلف خرابی پل‌ها مطابق گزارش سازمان

راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور [۱]



شکل ۲ تخریب ناشی از آبخستگی در محل پل گلال

کهنک [۲]



شکل ۳ میدان جریان پیرامون تکیه‌گاه پل

مقدمه

اهمیت پل‌ها در برقراری راه‌های ارتباطی بر کسی پوشیده نیست. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان در اثر آبخستگی در اطراف پایه‌های آن‌ها تخریب می‌شوند و یا خسارت می‌بینند. تخریب پل‌ها علاوه بر خسارات مادی، در مواقع سیلابی، خسارت جانی و مسائل اجتماعی زیادی به دنبال دارد. حفاظت اطراف پایه‌های پل در مقابل آبخستگی می‌تواند از تخریب آن‌ها جلوگیری کند. از این‌رو، تحقیق روی این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است. شکل (۱) عوامل مختلف خرابی پل‌ها را که توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور در سال ۱۳۹۱ گزارش شده است، نشان می‌دهد. سهم تخریب ناشی از آبخستگی در میان سایر عوامل تخریب پل‌های کشور برجسته‌تر می‌باشد [۱].

هم‌چنین مطابق مطالعات خادمی و همکاران [۲]

در دهه‌ی ۸۰، تعداد زیادی از پل‌های رودخانه‌ای استان خوزستان دچار تخریب ناشی از آبخستگی شدند که باعث تحمیل هزینه‌های زیادی گردید. در شکل (۲) تصویر آبخستگی و تخریب ناشی از آن در محل یکی از پل‌های مذکور نشان داده شده است.

نتایج مطالعات انجام شده توسط ملویل [3] بر

روی شکست ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه، علت شکست پل بوده است. برطبق مطالعات ملویل [3]، از ۱۰۸ مورد شکست پل که در فاصله

سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۶۰ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبخستگی تکیه‌گاه پل بود. ملویل هم‌چنین خاطر نشان می‌سازد که ۷۰ درصد هزینه‌ها روی شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبخستگی تکیه‌گاه پل بوده است.

مکانیسم جریان در اطراف تکیه‌گاه‌ها

تحقیقات در زمینه مکانیسم آبخستگی در تکیه‌گاه پل‌ها

کاربرد طوقه به منظور کاهش آبستگی

پایه‌هایی استوانه‌ای شکل با قطر ۶۱ و ۱۱۲ میلی‌متر و پنج اندازه مختلف با شکل دایره‌ای برای کاهش آبستگی استفاده کردند. مطالعات نشان داد که هر چه طوقه بزرگ‌تر باشد تأثیر بیشتری بر کاهش خسارت آبستگی خواهد داشت. آنان با استفاده از تحلیل آزمایش‌ها، معادله (۱) را برای محاسبه میزان عمق آبستگی ارائه کردند:

$$\frac{ds_p - ds_c}{ds_p} = 0.057 \left(\frac{B}{d}\right)^{1.612} \left(\frac{H}{y_0}\right)^{0.837} \quad (1)$$

که در آن ds_c عمق آبستگی پایه طوقه‌دار، ds_p عمق آبستگی پایه بدون طوقه، H فاصله سطح طوقه تا سطح آب، y_0 عمق جریان، B قطر طوقه و b عرض پایه است.

سینگ و همکاران [13] نیز عملکرد طوقه‌ها را در کاهش آبستگی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بود که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب طوقه افزایش یابد، حداکثر عمق آبستگی افزایش می‌یابد. بهترین محل نصب طوقه در آزمایشات برابر $0.1D$ (قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به پهنای دو برابر قطر پایه میزان آبستگی را به میزان ۹۱ درصد کاهش داد. طوقه‌ها به ابعاد $1/5$ ، 2 و $2/5$ برابر قطر پایه با قرارگیری در سطح بستر به ترتیب 50 ، 68 و 100 درصد میزان آبستگی را در مقایسه با پایه بدون طوقه کاهش دادند.

مونوکادا و همکاران [14] به مطالعه عملکرد طوقه و شکاف در کاهش آبستگی پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که استفاده از طوقه‌ای با عرض دو برابر قطر پایه می‌تواند آبستگی را ۵۵ تا ۹۶ درصد کاهش دهد. بلوچی و همکاران [۱۵] آزمایش‌هایی را به منظور بررسی اثر طوقه بر روند آبستگی موضعی انجام دادند. طوقه‌های دایره‌ای مسطح به‌کار رفته عبارت بودند از: طوقه با دو و سه برابر قطر پایه و هم مرکز با پایه، و طوقه با سه برابر قطر پایه و هم مرکز با پایه و نهم مرکز با پایه؛ نتایج نشان داد که وجود طوقه موجب تأخیر در زمان تعادل و کاهش عمق آبستگی

طوقه صفحه‌ای است که در ارتفاعات مختلف پایه پل و معمولاً نزدیک بستر در اطراف پایه قرار می‌گیرد. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز می‌باشد و در کاهش توسعه آبستگی مؤثر می‌باشد. طوقه نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد طوقه سبب ایجاد مانع در برابر جریان می‌شود و آبستگی را افزایش می‌دهد. یک طوقه که در هر سطحی نسبت به بستر نصب می‌شود، جریان را به دو ناحیه بالا و پایین طوقه تقسیم می‌کند. ناحیه بالای طوقه به عنوان یک مانع در مقابل جریان رو به پایین عمل می‌کند و قدرت جریان رو به پایین را در اثر برخورد با طوقه کاهش می‌دهد. در ناحیه پایین طوقه، قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه گرداب نعل اسبی کاهش می‌یابد. کارایی یک طوقه به اندازه و محل قرارگیری آن بر روی پایه نسبت به بستر، بستگی دارد. موقعی که طوقه برای محافظت از آبستگی روی پایه نصب می‌شود، جریان رو به پایین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف می‌شود و جلوی آبستگی گرفته می‌شود. اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه تأثیر طوقه بر کاهش یا کنترل آبستگی اطراف پایه‌های پل بوده است و در زمینه تأثیر طوقه بر کاهش یا کنترل آبستگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل مطالعات محدودی صورت گرفته است. در ادامه بخشی از تحقیقات انجام شده در خصوص تأثیر طوقه بر کاهش آبستگی اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفته است.

چیو [11] تأثیر طوقه‌های محافظ را در کاهش آبستگی پایه پل مورد آزمایش قرار داد و با استفاده از طوقه به اندازه دو برابر قطر پایه، عمق آبستگی به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت. همچنین او اظهار داشت که طراحی و کاربرد درست طوقه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ‌چین در حل مشکلات آبستگی موضعی پایه‌های پل باشد.

کومار و همکاران [12] با انجام آزمایش‌هایی تأثیر طوقه را بر کاهش آبستگی بررسی کردند. ایشان از

پل‌ها تحقیقات محدودی صورت گرفته است که در ادامه به آن اشاره می‌گردد.

کایاترک [20] تأثیر طوقه بر توسعه زمانی آبخستگی را در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که طوقه، مانع فرسایش ذرات رسوبی توسط جریان پایین‌رونده می‌شود. کارایی طوقه برای جلوگیری از آبخستگی در بستر تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری آنها در اطراف تکیه‌گاه است. لی و همکاران [21] عملکرد طوقه را در کاهش آبخستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طوقه‌ها قادر به حفاظت تکیه‌گاه‌های پل از آبخستگی می‌باشند. آنها قادرند جریان برگشتی و گردابه‌های ثانویه را که مسبب آبخستگی می‌باشند، در اطراف بستر تکیه‌گاه کنترل کنند و بدین‌وسیله موجب کاهش آبخستگی شوند. خزیمه‌نژاد و همکاران [22] تأثیر ابعاد و موقعیت قرارگیری طوقه را بر کاهش آبخستگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش ابعاد طوقه عملکرد آن بهبود می‌یابد، هم‌چنین با کاهش تراز نصب طوقه نسبت به بستر بر عملکرد آن افزوده می‌شد. خزیمه‌نژاد و قمشی [23] عملکرد طوقه‌های متقارن و نامتقارن را بر کاهش آبخستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل بررسی و مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که تأثیر عرض طوقه در بالادست بسیار مؤثرتر از دو بعد دیگر طوقه می‌باشد. عرض طوقه در پایین‌دست کمترین تأثیر را در کاهش آبخستگی در میان ابعاد هر دو نوع طوقه دارد. به همین جهت طوقه نامتقارن هنگامی که عرض بالادست آن نسبت به پایین‌دست بزرگ‌تر باشد نسبت به طوقه هم-مساحت خود عملکرد بهتری نشان می‌دهد. در حالت عکس، عملکرد طوقه متقارن بهتر خواهد بود.

مطابق آنچه اشاره شد به دلیل مکانیزم متفاوت جریان پیرامون تکیه‌گاه پل، تأثیر هر کدام از ابعاد طوقه بر عملکرد آن در کاهش آبخستگی متفاوت است و از آنجایی که تاکنون تحقیقی بر روی عملکرد طوقه‌های ال‌شکل صورت نگرفته است، تحقیق حاضر با هدف

می‌شود. طوقه با قطر دو و سه برابر قطر پایه روی بستر به ترتیب آبخستگی را ۱۴/۵۸ و ۳۵ درصد کاهش داد.

زرانی و همکاران [16] تأثیر طوقه بر کاهش آبخستگی اطراف پایه‌های مستطیلی با سه نوع زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان ۰، ۵ و ۱۰ درجه را ارزیابی کردند و دریافتند که هرچه طوقه عریض‌تر و ارتفاع آن نسبت به بستر کمتر باشد عملکرد بهتری خواهد داشت، هم‌چنین کارایی طوقه با افزایش زاویه قرارگیری پایه نسبت به جریان کاهش می‌یابد.

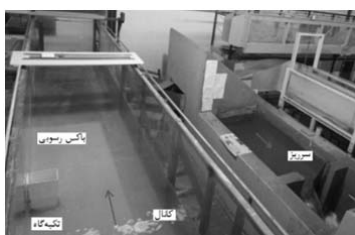
در تحقیق دیگری زرانی و همکاران [17] عملکرد طوقه‌های مستقل و پیوسته همراه با سنگ‌چین را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوقه پیوسته و سنگ‌چین منجر به کاهش عمق آبخستگی به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد به-ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. هم‌چنین عملکرد طوقه‌های مستقل بر روی هر پایه بهتر از عملکرد یک طوقه پیوسته بر روی دو پایه بود. آنها مشاهده کردند که کارایی طوقه بر روی یک پایه مستطیلی بیشتر از دو پایه در یک امتداد می‌باشد.

ثانی‌خانن و همکاران [۱۸] عملکرد طوقه‌های مربعی شکل را در کاهش آبخستگی در اطراف پایه‌های پل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش ابعاد طوقه آبخستگی کاهش می‌یابد. هم‌چنین نتایج نشان داد که طوقه‌های مستطیلی در مقایسه با طوقه‌های دایره‌ای شکل، تأثیر بیشتری بر پراکنده‌سازی و تضعیف عملکرد گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه داشتند. نتایج نشان داد که استفاده از طوقه در تراز زیر بستر نسبت به سایر ترازها تأثیر بیشتری دارد.

شریعتی و همکاران [۱۹] عملکرد طوقه با هندسه‌های متفاوت مربعی و دایره‌ای را در اطراف پایه پل استوانه‌ای در ترازهای مختلف نسبت به تراز بستر مورد بررسی و تحقیق قرار دادند. نتایج این تحقیق نیز حاکی از آن است که عملکرد طوقه‌های زیر سطحی نسبت به موقعیت‌های دیگر قرارگیری بهتر است. در زمینه تأثیر طوقه بر کاهش آبخستگی تکیه‌گاه

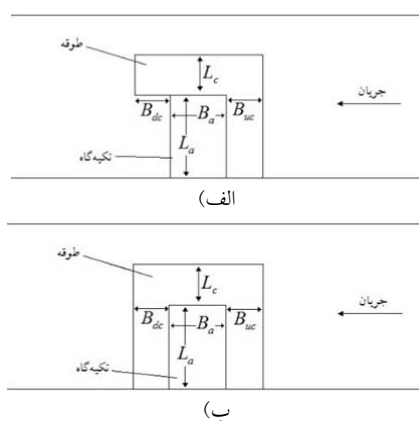
مخزن زیرزمینی آزمایشگاه می‌شود و به این ترتیب یک جریان رفت و برگشتی در کل زمان آزمایش در فلوم برقرار می‌باشد

در این تحقیق از تکیه‌گاه مستطیلی به طول 0.2 و عرض 0.12 متر استفاده گردید. آزمایش‌ها در دبی 40 لیتر بر ثانیه و عمق ثابت 0.15 متر انجام گردید، از آن-جایی که حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آستانه حرکت رسوبات رخ می‌دهد یعنی $1 < V/V_c$ که V سرعت متوسط جریان و V_c سرعت آستانه حرکت ذرات رسوب می‌باشد، در دبی مذکور مقدار 0.95 برای پارامتر V/V_c در مقطع آزمایشی برقرار گردید.



شکل ۴ مدل آزمایشگاهی

طوقه‌های استفاده شده در این تحقیق از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت 3 میلی‌متر انتخاب شدند. طوقه‌ها از نظر شکل دارای دو وضعیت کامل و ال‌شکل می‌باشند. در شکل (۵) شماتیک ساده‌ای از طوقه‌های استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۵ شماتیک ساده‌ای از طوقه از نمای بالا
(الف) طوقه‌ی ال (ب) طوقه‌ی کامل

بررسی عملکرد طوقه‌های ال شکل در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل و مقایسه آن با طوقه کامل انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در فلومی به طول 9 متر و عرض 1 متر و ارتفاع 0.6 متر و شیب ثابت 0.003 در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. دیواره‌های کانال از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت یک سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. در فاصله 2 متری از ابتدای فلوم یک باکس فلزی قرار گرفته است که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب حدود 2 ، 0.7 و 0.3 متر می‌باشد. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت دارای انحراف معیار هندسی $1/2$ ، چگالی $2/65$ و قطر متوسط 0.76 میلی‌متر پر شده است به نحوی که پس از پرشدن در تراز بستر کانال قرار می‌گیرد. در خصوص اندازه رسوبات در آزمایش‌های مربوط به پایه‌های پل، معیارهای متعددی ذکر شده است؛ به عنوان مثال طبق نظر رادکیوی [24] برای این-که اندازه رسوب تأثیری بر آبشستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز جلوگیری شود، بایستی قطر پایه به اندازه رسوب، بیشتر از 20 الی 25 باشد. هر چند برای تکیه‌گاه شرایط تقریباً متفاوت است اما اندازه رسوب در نظر گرفته شده با این معیار مطابقت دارد. در شکل (۴) تصویری از مدل آزمایشگاهی نشان داده شده است. آب از طریق پمپ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه پمپاژ می‌شود و به قسمت ابتدایی فلوم که بخش آرام‌کننده می‌باشد هدایت می‌گردد. در انتهای فلوم دریچه کنترل برای تنظیم عمق در رقوم مورد نظر قرار دارد. سپس آب وارد حوضچه آرامش می‌شود. در انتهای حوضچه آرامش، سرریز مثلثی 53 درجه‌ی استاندارد قرار دارد که دبی جریان توسط آن اندازه‌گیری می‌شود. پس از عبور از سرریز، آب مجدداً وارد

مخصوص مستغرق ذره رسوب و μ ضریب لزوجت دینامیکی می‌باشند.

با به‌کار بردن تئوری باکینگهام رابطه (۲) به رابطه (۳) تبدیل خواهد شد.

$$Pr = f(L_c / L_a, B_{uc} / L_a, B_{dc} / L_a, Z_c / y, Fr, \quad (3)$$

$$L_a / B, L_a / B_a, d_s / y, G_s Re, \alpha, \phi_1, \phi_2)$$

که در آن:

Pr درصد کاهش عمق آبستتگی است که مقدار آن از رابطه (۴) استخراج می‌گردد، Fr عدد فرود جریان، G_s چگالی ذرات رسوب و Re عدد رینولدز جریان می‌باشد و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

$$Pr = \frac{(y_s - y_{sc})}{y_s} \times 100 \quad (4)$$

از میان پارامترهای بی‌بعد در رابطه (۳)، $G_s, d_s / y, L_a / B_a, L_a / B, Fr, Z_c / y, B_{uc} / L_a, \phi_1, \alpha$ و ϕ_2 ثابت در نظر گرفته شدند. هم‌چنین در تمامی آزمایش‌ها عدد رینولدز برای اطمینان از برقراری جریان متلاطم ($Re > 2000$) مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) پارامترهای بی‌بعد و مقادیرشان در تحقیق حاضر نشان داده شده است:

جدول ۱ پارامترهای بی‌بعد و مقادیر بررسی شده

پارامتر بی‌بعد	مقادیر بررسی شده
L_c / L_a	۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۳۷۵، ۰/۲۵
B_{uc} / L_a	۰/۵
B_{dc} / L_a	۰/۵، ۰/۲۵، ۰

در جدول (۱) سه پارامتر بی‌بعد هم مربوط به طوقه ال‌شکل و هم طوقه کامل می‌باشد.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از تحقیق حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرند. بخش اول مربوط به نتایج

در شروع هر آزمایش ابتدا فلوم با نرخ کم جریان پر خواهد شد، این امر به این دلیل است که جلوی فرسایش ناشی از جریان ورقه‌ای در ابتدای آزمایش گرفته شود، سپس دبی آب به آرامی زیاد می‌شود تا به دبی مورد نظر برسد، پس از تنظیم دبی توسط سرریز مثلی به وسیله دریچه کنترل، آب در عمق مورد نظر یعنی ۰/۱۵ متر قرار می‌گیرد. سپس آزمایش به مدت زمان تعیین شده ادامه پیدا کرده و پس از اتمام آزمایش آب به آرامی از فلوم خارج می‌گردد. در انتها حداکثر عمق آبستتگی و الگوی رسوب‌گذاری ایجادشده در اطراف تکیه‌گاه به وسیله متر لیزری برداشت می‌گردد.

تحلیل ابعادی

پارامترهای موثر بر میزان آبستتگی اطراف تکیه‌گاه مجهز به طوقه به شرح زیر است:

$$F(B, L_a, B_a, \phi_1, L_c, B_{uc}, B_{dc}, Z_c, \phi_2, d_s, y_s, y_{sc}, Q(V), g, y, \alpha, \rho, \rho_s - \rho, \mu) = 0 \quad (2)$$

که در آن:

B عرض کانال، L_a طول تکیه‌گاه، B_a عرض تکیه‌گاه، ϕ_1 شکل تکیه‌گاه، L_c میزان پیش‌آمدگی طوقه در طول تکیه‌گاه، B_{uc} میزان پیش‌آمدگی طوقه در عرض در بالادست تکیه‌گاه، B_{dc} میزان پیش‌آمدگی طوقه در عرض در پایین‌دست تکیه‌گاه، Z_c فاصله عمودی طوقه نسبت به بستر ثابت، ϕ_2 شکل طوقه، d_s قطر رسوب، y_s و y_{sc} عمق آبستتگی به ترتیب با طوقه و بدون طوقه (با توجه به این که حداکثر عمق آبستتگی بدون حضور طوقه در گوشه بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد لذا همین نقطه برای برداشت عمق آبستتگی در هر دو حالت با طوقه و بدون طوقه به عنوان نقطه مبنا در تمامی آزمایش‌ها مدنظر قرار گرفت.)، Q یا V (دبی یا سرعت جریان)، g شتاب جاذبه، y عمق جریان، α زاویه برخورد جریان با تکیه‌گاه، ρ جرم مخصوص آب، $(\rho_s - \rho)$ جرم

آزمایش‌های مختلف فراهم می‌شود، لذا ۵ ساعت به- عنوان زمان آزمایش برای تمامی آزمایش‌ها انتخاب گردید. بنابراین یک آزمایش شاهد دیگر در مدت زمان ۵ ساعت انجام و عمق آبستتگی در نقطه مبنا برداشت گردید. الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش طبق آنچه که قبلاً گفته شد به وسیله متر لیزری برداشت شد. همان- طور که قبلاً گفته شد حداکثر عمق آبستتگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد. در شکل (۷) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در آزمایش شاهد ۵ ساعته نشان داده شده است.

به منظور کاهش آبستتگی در این نقطه که به- عنوان نقطه مبنا معرفی گردید دو نوع طوقه‌ال‌شکل و کامل با ابعاد مختلف که در جدول (۱) به آن اشاره گردید، مورد بررسی قرار گرفتند که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

نتایج آزمایش‌های طوقه‌ال‌شکل

در تحقیق حاضر، ۱۲ طوقه‌ال‌شکل مورد آزمایش قرار گرفت. این طوقه‌ها براساس پارامتر B_{dc}/L_a در سه گروه تقسیم‌بندی شدند. نتایج مربوط به این بخش از آزمایش‌ها، در شکل (۸) نشان داده شده است.

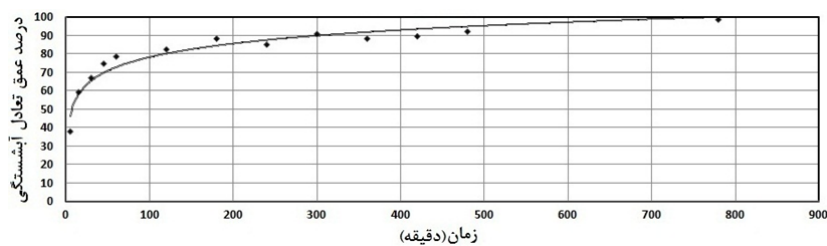
آزمایش‌های شاهد است که بدون حضور طوقه انجام گردید. بخش دوم نتایج آزمایش‌های مربوط به طوقه- های ال‌شکل، بخش سوم طوقه‌های کامل و در بخش چهارم نیز عملکرد دو نوع طوقه با هم‌دیگر مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

نتایج آزمایش‌های بدون حضور طوقه

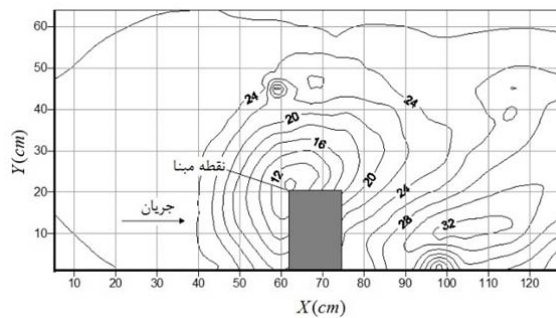
(آزمایش‌های شاهد)

در این مرحله ابتدا یک آزمایش به مدت زمان ۱۳ ساعت انجام گردید. در طول مدت آزمایش در زمان- های مختلف عمق آبستتگی در نقطه مبنا برداشت گردید. در شکل (۶) تغییر عمق آبستتگی در مقابل زمان بدون حضور طوقه نشان داده شده است.

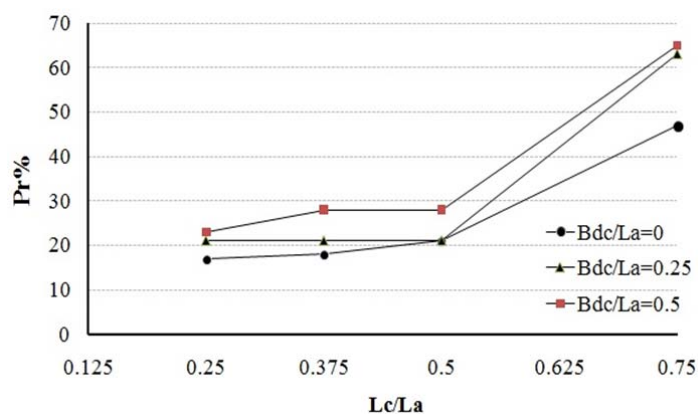
در شکل (۶) محور عمودی مربوط به درصد عمق تعادل آبستتگی می‌باشد. در تحقیق حاضر فرض بر این بود که ۹۹ درصد عمق تعادل آبستتگی (عمق نهایی آبستتگی) در مدت زمان ۱۳ ساعت اتفاق می- افتد. در این صورت مطابق شکل (۶) حدود ۹۱ درصد عمق تعادل آبستتگی در مدت زمان ۵ ساعت اتفاق می‌افتد و با توجه به این‌که هدف در تحقیق حاضر، بررسی تأثیر ابعاد طوقه‌های ال‌شکل و کامل و مقایسه عملکرد آنها می‌باشد و این هدف با مقایسه نتایج



شکل ۶ تغییر عمق آبستتگی در مقابل زمان بدون حضور طوقه



شکل ۷ الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری پیرامون تکیه‌گاه در آزمایش شاهد ۵ ساعته



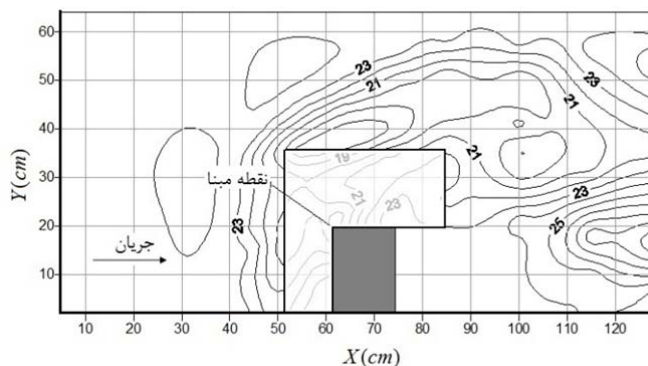
شکل ۸ کارایی طوقه‌ال شکل در مقابل تغییر ابعاد آن

که گرداب‌های اولیه در نزدیکی دیواره تکیه‌گاه قدرت بالایی ندارند که احتمالاً ناشی از تداخل لایه مرزی تکیه‌گاه می‌باشد و حتی محافظت بستر به اندازه نصف طول تکیه‌گاه (L_c/L_a برابر ۰/۵) نیز نتوانسته میزان آبشستگی را به شکل قابل قبولی کاهش دهد اما محافظت بستر با استفاده از طوقه‌ال شکل در فاصله ۰/۵ تا ۰/۷۵ طول تکیه‌گاه، عملکرد طوقه را تقریباً ۳۰ درصد یعنی بیش از ۲ برابر افزایش داده است که حاکی از قدرت بالاتر گرداب‌های اولیه در این محدوده است. الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری برای یکی از طوقه‌های ال شکل که در شکل ۹ نشان داده شده است، درک بهتری از مکانیزم گرداب‌های پیرامون تکیه‌گاه را فراهم می‌سازد.

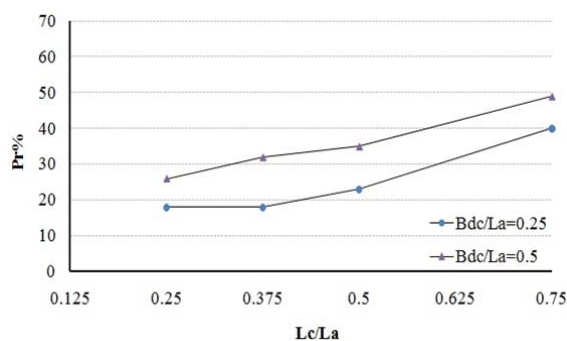
مطابق شکل (۸) با افزایش ابعاد طوقه در طول و در عرض پایین‌دست، عملکرد طوقه افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد عملکرد هر سه گروه طوقه‌ال شکل در برابر افزایش ابعاد طوقه، یکسان بوده است. افزایش پارامتر L_c/L_a از ۰/۲۵ به ۰/۵ تغییر محسوسی در میزان عملکرد طوقه (Pr) ایجاد نکرده است و عملکرد ۹ طوقه‌ای که دارای این ابعاد می‌باشند کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد، اما با افزایش پارامتر مذکور از میزان ۰/۵ به ۰/۷۵، به شکل قابل توجهی، عملکرد طوقه بهبود یافته است به نحوی که طوقه دارای B_{dc}/L_a برابر صفر دارای عملکرد نزدیک به پنجاه و طوقه‌های دارای B_{dc}/L_a برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ عملکرد بالای ۶۰ درصد دارند. این نکته نشان می‌دهد

توجهی در پایین دست تکیه گاه تپه های رسوبی وجود ندارند و نهشته شدن تکیه گاه در فاصله حدود ۲ برابر عرض تکیه گاه رخ داده است. عدم تشکیل تپه های رسوبی در اطراف تکیه گاه در وضعیت نصب طوقه یکی از محاسن نصب طوقه می باشد چرا که توزیع نامناسب رسوبات و وجود تپه های رسوبی باعث انسداد جریان در بین پایه های پل شده که خود به نوعی مسبب آبستنگی به ویژه آبستنگی ناشی از تنگ-شدگی جریان می شود.

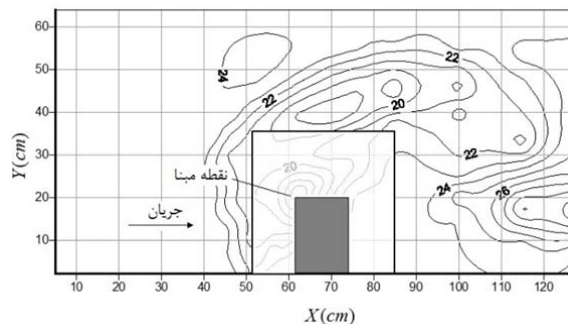
مطابق شکل (۹) رسوبات، داری توزیع یکنواخت تری نسبت به آزمایش شاهد شده اند، نصب طوقه ضمن کاهش عمق آبستنگی در نقطه مبنا از ارتفاع رسوبات پشت تکیه گاه نیز کاسته است. به نحوی که بین گودترین و مرتفع ترین نقاط بستر کمتر از ۱۰ سانتی متر (۰/۶۶ برابر عمق جریان) اختلاف ارتفاع وجود دارد در حالی که این اختلاف در آزمایش شاهد ۵ سانتی متر (۱/۳۳ برابر عمق جریان) می رسد. نکته دیگر اینکه تا فاصله قابل



شکل ۹ الگوی فرسایش و رسوب گذاری پیرامون طوقه ال
شکل ($L_c / L_a = 0.75$ و $B_{dc} / L_a = 0.5$)



شکل ۱۰ کارایی طوقه کامل در مقابل تغییر ابعاد آن



شکل ۱۱ الگوی فرسایش و رسوب گذاری پیرامون طوقه کامل ($L_c / L_a = 0.75$ و $B_{dc} / L_a = 0.5$)

مطابق شکل در محدوده L_c / L_a برابر 0.25 تا 0.5 ، عملکرد دو نوع طوقه از روند مشابهی تبعیت می‌کنند و اختلاف معنی‌داری بین دو نوع طوقه دیده نمی‌شود، اما با افزایش پارامتر مذکور از 0.5 به 0.75 عملکرد دو نوع طوقه متفاوت است، طوقه‌های ال شکل عملکرد بهتری در این محدوده از خود نشان می‌دهند و نسبت به طوقه کامل بیش از 10 درصد بر عملکرد آن افزوده شده است. بررسی مکانیزم جریان پیرامون تکیه‌گاه در منابع نشان می‌دهد که در پایین دست تکیه‌گاه گرداب‌های برخاستگی فعال می‌باشند و این گرداب‌ها که از نوع افقی می‌باشند با دارا بودن مرکزی کم‌فشار برخلاف گرداب‌های عمودی پتانسیل رسوب‌گذاری دارند. بنابراین به‌نظر می‌رسد طوقه‌ی کامل مانع از فعالیت بخشی از این گرداب شده در حالی‌که در طوقه ال شکل نسبت به طوقه کامل این گرداب قادر به فعالیت بیشتری است و بخشی از رسوباتی را که به درون چاله آبشستگی ریزش می‌کنند تامین می‌کند و همین باعث کاهش عمق چاله آبشستگی و در نتیجه افزایش عملکرد طوقه می‌شود. البته برای اثبات دقیق‌تر این فرضیه به آزمایش‌های متعددی در کنار بررسی الگوی سه‌بعدی

نتایج آزمایش‌های طوقه کامل

در این بخش، دو گروه طوقه کامل (B_{dc} / L_a) برابر 0.25 و 0.5 مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

در طوقه‌های کامل نیز با افزایش ابعاد طوقه، عملکرد آن بهبود یافته است. در طوقه‌های کامل نیز روند مشابه و یکسانی بین دو گروه دیده می‌شود. افزایش پارامتر بی بعد B_{dc} / L_a از 0.25 به 0.5 حدود 10 درصد به عملکرد همه طوقه‌ها افزوده است. در شکل (۱۱) الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری پیرامون تکیه‌گاه مجهز به طوقه در حالت $B_{dc} / L_a = 0.5$ و $L_c / L_a = 0.75$ نشان داده شده است.

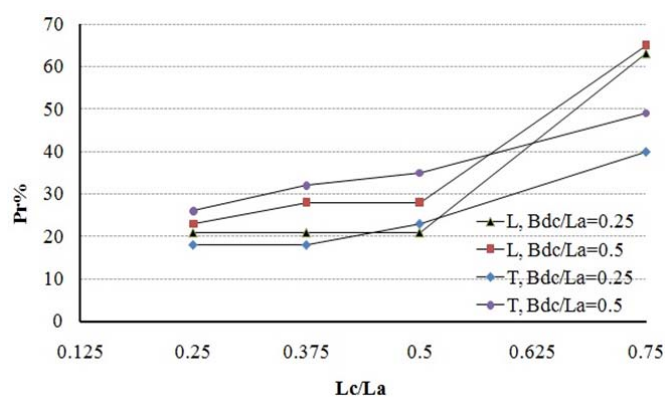
در حالت نصب طوقه کامل نیز مشابه طوقه ال- شکل الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری مشابهی رخ داده است. نصب طوقه ضمن کاهش عمق چاله آبشستگی از ارتفاع رسوبات نهشته شده در پایین دست تکیه‌گاه نیز کاسته است.

مقایسه عملکرد طوقه‌های کامل و ال شکل

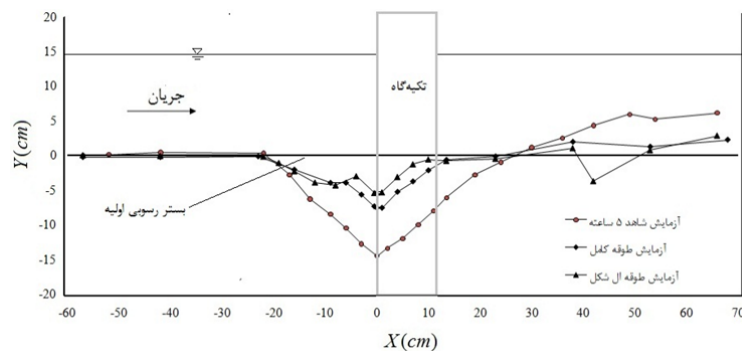
برای مقایسه بهتر عملکرد دو نوع طوقه کامل و ال- شکل، شکل (۱۲) ترسیم شده است.

افزاید. در تحقیق خزیمه نژاد و قمشی [23] درخصوص مقایسه عملکرد طوقه‌های متقارن و نامتقارن نیز عرض پایین دست طوقه کمترین تأثیر را در کنترل آبستنگی دارد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در شکل ۱۳ پروفیل طولی رسوبات پیرامون تکیه‌گاه در وضعیت با و بدون طوقه نشان داده شده است.

جریان پیرامون تکیه‌گاه در وضعیت نصب طوقه نیاز می‌باشد. در زمینه تأثیر طوقه بر آبستنگی تکیه‌گاه تحقیقات بسیار اندکی انجام شده است که در بخش مقدمه مقاله حاضر به آن اشاره گردید. درخصوص این تحقیقات نیز فقط تأثیر ابعاد طوقه به صورت کلی و تراز نصب آن بر کاهش آبستنگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آنها نشان می‌دهد که افزایش ابعاد طوقه بر عملکرد آن می-



شکل ۱۲ مقایسه عملکرد طوقه‌های کامل و ال شکل



شکل ۱۳ پروفیل طولی رسوبات بستر پیرامون تکیه‌گاه در آزمایش شاهد و آزمایش طوقه ($L_c / L_a = 0.75$ و $B_{dc} / L_a = 0.5$)

نتیجه گیری

قابل توجهی در کاهش عمق آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه نداشت و عملکرد طوقه کمتر از ۳۰ درصد بود. افزایش طول بی‌بعد طوقه از ۰/۵ به ۰/۷۵ که برابر ۲۵ درصد طول تکیه‌گاه بود عملکرد طوقه را حدوداً ۲ برابر افزایش داد. بررسی طوقه‌های با ابعاد بزرگ‌تر نشان داد که در طوقه‌های کامل به دلیل این‌که بخش زیادی از محدوده گرداب برخاستگی توسط طوقه کنترل می‌شود عملکرد آنها نسب به طوقه‌ال‌شکل کمتر می‌باشد و بنابراین در صورت استفاده از طوقه به‌عنوان سازه کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل، به کاربردن طوقه‌ال‌شکل با توجه به این‌که دارای مساحت کمتری نیز می‌باشد، به‌صرفه‌تر خواهد بود.

در تحقیق حاضر عملکرد دو نوع طوقه کامل و ال‌شکل در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو نوع طوقه، افزایش ابعاد طوقه، عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. در حالت نصب طوقه رسوبات پیرامون تکیه‌گاه توزیع یکنواختی دارند و اختلاف بین گودترین و مرتفع‌ترین نقاط بستر به بیش از دو برابر حالت بدون طوقه کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که در محدوده نزدیک تکیه‌گاه با توجه به عملکرد پایین دو نوع طوقه، قدرت گرداب‌های اولیه پایین است. محافظت بستر به وسیله طوقه تا حدود ۰/۵ برابر طول تکیه‌گاه نیز تأثیر

مراجع

۱. خادمی، خیراله، «بررسی اثر فواصل طولی و عرضی صفحات مستغرق بر آبشستگی موضعی ایجاد شده در محل تکیه‌گاه پل»، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران، اهواز، (۱۳۹۱).
۲. خادمی، خیراله، خزیمه‌نژاد، حسین، شفاعی بجزستان، محمود، «برداشت بی‌رویه مصالح رودخانه‌ای در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبشستگی پای پل‌های بزرگ»، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۹).
3. Melville, B.W., "Local Scour at Bridge Abutments", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 4, PP. 615-631. (1992)
4. Wong, W. H., "Scour at Bridge Abutments", Report No. 275, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand., (1982).
5. Tey, C. B., "Local scour at bridge abutments", Report No. 329, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand., (1984).
6. Kwan, F., "Study of Abutment Scour", Report No. 451, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand, (1988).
7. Kandasamy, J. K., "Abutment scour", Report No. 458, School of Engineering., University of Auckland, Auckland, New Zealand, (1989).
8. Dongol, D. M. S., "Local scour at bridge abutments", Report No. 544, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand , (1994).
9. Liu, M. K., Chang, F. M., and Skinner, M. M., "Effect of bridge construction on scour and backwater", Report No. CER60-HKL22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, (1961).

10. Gill, M. A., " Bed erosion around obstructions in rivers", Ph.D thesis, The University of London, Imperial College of Science and Technology, (1970).
11. Chiew, Y. M., " Scour protection at bridge piers", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, No. 118(9), pp. 1260-1269, (1992).
12. Kumar, V., Ranga Raju, K. G., and Vittal, N., " Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars". *Journal of Hydraulic Engineering*, No. 125(12), pp. 1302-1305., (1999)
13. Singh, C.P., Setia, B. and Verma, D.V.S., "Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier", Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China., No. 16-21., pp. 202-209., (2001).
14. Monocad, M, A, T., Aguirre-Pe J., Bolivar J.C and Flores E.J., " Scour protection of circular ridge piers with collars and slots". *Journal of Hydraulic Research*, vol. 47, No. 1, pp. 119-126., (2009).
۱۵. بلوچی، محمد، چمنی، محمدرضا، بیرامی، محمدکریم، «بررسی اثر تغییر شکل طوق بر روند و میزان آبشستگی موضعی»، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک، ایران، دانشگاه شهرکرد، (۱۳۸۶).
16. Zarrati A.R., Gholami H and Mashahir M.B., "Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers". *Journal of Hydraulic Research*. vol. 42, No. 1, pp. 97-103., (2004).
17. Zarrati, A. R., Nazariah, M and Mashahir, M. B., "Reduction of local scour in the vicinity of bridge piergroups using collars and riprap". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, vol. 132, No. 2, pp. 154-162., (2006).
۱۸. ثانی‌خانی، هادی، حسین‌زاده دلیر، علی، فرسادی‌زاده، داوود، «عملکرد طوق‌های مربعی شکل کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های پل»، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، (۱۳۸۷).
۱۹. شریعتی، حسین، خداشناس، سعیدرضا، اسماعیلی، کاظم، «مقایسه عملکرد طوق مربعی و دایره‌ای در آبشستگی موضعی در پایه پل»، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه‌دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۸).
20. Kayaturk, S.Y., " Scour and scour protection at bridge abutment". Ph.D thesis, Middle East Technical University, (2005).
21. Li, H., Kuhnle, R.A and Barkdoll, B.D , " Countermeasures Against Scour At Abutments". Report No. 49, USDA, Agricultural Research Service, (2006).
22. Khozaymehnezhad H., Ghomshi M., Shafai-bejestan M., "Investigation of Collar in different sizes and bed level as a Bridge Abutment Scour Countermeasure", *Ecology environmental & conservation*, vol. 18, No. 4, pp. 963-966., (2012).
23. Khozaymehnezhad, H., Ghomshi, M., "Comparison of symmetrical and unsymmetrical rectangular collars on scour reduction of bridge abutment", *Middle east journal of scientific research*, vol. 18, No. 8, pp. 1099-1104., (2013).
24. Raudkivi, A., Ettema, R., " Clear-water scour at cylindrical piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 109, No. 3, pp. 338-350., (1983).